

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Quagi anténa**

**Quagi antenna**

**2014**

**Leona Drozdková**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Leona Drozdková**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika  
Téma: **Quagi anténa**  
**Quagi Antenna**

Zásady pro vypracování:

Quagi anténa je specifický typ antény. Práce si klade za cíl popis antény a výrobu modelu antény na daný kmitočet.

Vypracování práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popište Quagi anténu a její odlišnosti od Yagi-Uda antény.
2. Realizujte praktický model Quagi antény na zadaný kmitočet.
3. Proveďte správnost návrhu a konstrukce měřením.

Seznam doporučené odborné literatury:

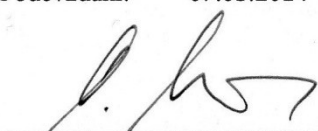
BALANIS, Constantine. *Antenna Theory : Analysis and design*. 3rd edition. United States : Wiley, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

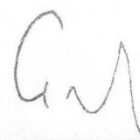
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne: 7. května 2014

  
.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla moc poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za dobré rady, trpělivost, konzultace, a také připomínky k obsahu a jeho formě zpracování.

## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je specifický typ antény, takzvaná hybridní, směrová Quagi anténa. V první části této práce jsou popsány základní principy a vlastnosti antén všeobecně, následně teoretický popis, principy a vlastnosti, výhody a nevýhody samotné Quagi antény. Dále je uveden návrh a simulace modelu Quagi antény pro zadaný kmitočet, ve frewarovém simulačním programu MMANA. Další část této práce se zabývá postupem praktické realizace antény. V poslední části je správnost praktického návrhu ověřena měřením vybraných parametrů zkonstruované antény.

## **Klíčová slova**

Anténa, směrová anténa, Quagi, Quad, Yagi-Uda.

## **Abstract**

The subject of this Bachelor thesis is a specific type of antenna, called crossbreed, directional Quagi antenna. The first part of my Bachelor work describes the basic principles and characteristics of antennas in General, then the theoretical description, principles and characteristics of the Quagi antenna. The following is the design and simulation of the Quagi model, for a specified antenna frequency, in MMANA freeware simulation tool. The next section covers the practical realization procedure of the antenna. In the last section is the accuracy of a practical proposal, verified by measuring the selected parameters of the constructed antenna.

## **Key words**

Antenna, directional antenna, Quagi, Quad, Yagi-Uda.

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$\lambda$	m	Vlnová délka
<b>B</b>	Hz	Šířka pásma
<b>C</b>	F	Kapacita
<b>c</b>	m/s	Rychlost světla ve vakuu
<b>d</b>	mm	Průměr vodiče
<b>E</b>	V/m	Intenzita elektrického pole
<b>f</b>	Hz	Frekvence
<b>G</b>	dBd	Zisk
<b>I</b>	A	Proud
<b>L</b>	H	Indukčnost
<b>l</b>	m	Délka prvků antény
<b>O</b>	W	Výkon odrážené vlny
<b>P</b>	W	Výkon
<b>R</b>	$\Omega$	Odpor
<b>U</b>	V	Napětí
<b>X</b>	$\Omega$	Reaktance
<b>Z</b>	$\Omega$	Impedance

## Seznam použitých zkratek

CB	Citizen Band - Občanské pásmo
ČSV	Standing Wave Ratio - Činitel stojatých vln
DV <sup>1</sup>	Digital Voice - Digitální fonie
DX	Distance X - Dálkový provoz
FM	Frekvenční modulace
EHF	Milimetrové vlny
HF	Krátké vlny
ISM	Industrial, Scientific and Medical - jsou pásma pro rádiové vysílání v oborech průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém
KV	Krátké vlny
LF	Dlouhé vlny
MF	Střední vlny
SHF	Centimetrové vlny
SWR	Standing Wave Ratio - Činitel stojatých vln
Vf	High Frequency - Vysoko frekvenční
VF	Vysokofrekvenční technika
VHF	Velmi krátké vlny
VKV	Velmi krátké vlny



# Obsah

Úvod.....	- 11 -
1 Anténa .....	- 12 -
1.1 Yagi-Uda anténa.....	- 13 -
1.1.1 Historie Yagi-Uda antény.....	- 13 -
1.1.2 Výhody, nevýhody Yagi-Uda antény .....	- 14 -
1.1.3 Charakteristické vlastnosti.....	- 14 -
1.1.4 Zisk antény .....	- 15 -
1.1.5 Směrovost antény .....	- 16 -
1.1.6 Parametry Yagi-Uda antény .....	- 16 -
1.1.7 Využití Yagi-Uda antény.....	- 16 -
1.2 Quad anténa.....	- 17 -
1.2.1 Historie Quad antény .....	- 18 -
1.2.2 Charakteristické vlastnosti Quad antény .....	- 19 -
1.2.3 Výhody a nevýhody Quad antény .....	- 19 -
1.2.4 Srovnání antén Yagi-Uda, Quad a Quagi: .....	- 19 -
2 Quagi anténa.....	- 20 -
2.1 Historie Quagi antény.....	- 20 -
2.2 Charakteristické vlastnosti Quagi antény .....	- 20 -
2.3 Výhody a nevýhody Quagi antény .....	- 21 -
2.4 Využití Quagi antény .....	- 21 -
3 Praktická realizace Quagi antény .....	- 22 -
3.1 Návrh antény .....	- 22 -
3.2 Výpočet rozměrů Quagiho antény.....	- 23 -
3.3 Simulace Quagi antény v programu MMANA .....	- 25 -
3.4 Program MMANA .....	- 25 -
3.5 Srovnání antény Quagi a Yagi-Uda antény .....	- 29 -
3.6 Konstrukce .....	- 31 -
3.7 Praktická realizace antény .....	- 32 -

4	Ověření správnosti návrhu a konstrukce měření .....	- 35 -
4.1	Vyhodnocení měření .....	- 36 -
	Použitá literatura .....	38
	Seznam příloh.....	39

## Úvod

Antény jsou běžnou součástí našeho každodenního života. Toto zařízení nám slouží k příjmu a vysílání vysokofrekvenčních rádiových signálů o různých frekvencích do prostoru. Antény můžeme využívat pro příjem televizních, rádiových a mikrovlnných signálů, dělí se do mnoha skupin podle délky vln, způsobu využití, velikosti a také tvarů. Navrhování antén a jeho technika se stala v tomto speciálním oboru. [1]

Bakalářská práce je věnována specifickému typu Quagi antény. Jedná se o anténu využívanou radioamatéry, nenáročnou na materiál a je relativně jednoduchá na konstrukční zhotovení. V této práci také bude zmíněno o Yagi-Uda a Quad anténě, které s Quagi anténou úzce souvisí, a také obecnému popisu a principu antén.

V první části této bakalářské práce pro objasnění bude úvodem zmíněna podstata antény, její využití, principy, vlastnosti, dále se budeme zabývat anténami směrovými a anténám Yagi-Uda a Quad, tyto dvě antény jsou kombinací Quagi antény. O anténách Yagi-Uda a Quad bude zmíněna historie, vznik, charakteristické vlastnosti, výhody, nevýhody a srovnání těchto antén.

Druhá část je věnována hybridní, smyčkové a směrové Quagi anténě, její vznik, historie, charakteristické vlastnosti, výhody, nevýhody a následné využití této antény v praxi.

Třetí část této práce bude zaměřena na návrh antény a na výpočty rozměrů antény Yagi-Uda a Quad antény, tyto dvě antény budou následně konstrukčně spojeny a vytvoříme Quagi anténu. V simulačním programu MMANA bude provedeno srovnání Quagi a Yagi-Uda antény. V tomto programu byl sestaven finální model Quagi antény a provedená její simulace.

Poslední část této práce bude věnována praktické realizaci Quagi antény, a prověření správné funkčnosti konstrukce měřením anténním analyzerem „Rig Expert Antenna Analyzer AA-520“.

# 1 Anténa

Anténa je zařízení, která přeměňuje elektromagnetické vlny na elektrický signál a naopak, je to část vysokofrekvenčního vedení upravená tak, aby účinně vyzařovala energii do prostoru. Anténa slouží k příjmu a také k vysílání rádiových signálů. V systému rádiových komunikací se stala nezbytnou součástí. V minulém století byly hodně využívány rozhlasové a televizní antény, v současnosti jsou využívány antény hlavně v bezdrátových počítačových sítích, v dopravních prostředcích, nebo pro příjem televizních a satelitních signálů. Anténa není nahraditelná žádným elektronickým obvodem. [2]

Antény můžeme rozdělit např. podle délky vlny, jako jsou velmi krátké vlny s označením (VKV), anglická zkratka VHF, které využívají pásmo v rozmezí 30-300 MHz (televizní vysílání), krátké vlny (KV), anglická zkratka HF, které využívají pásmo v rozmezí 3-30 MHz (krátkovlnné vysílání, amatérské rádio), střední vlny (SV), anglická zkratka MF, které využívají pásmo v rozmezí 300-3000 kHz (AM vysílání), dlouhé vlny (DV), které využívají pásmo v rozmezí 30-300 kHz (časové signály, AM vysílání, navigace) a velmi dlouhé vlny (VDV), které využívají pásmo v rozmezí 3-30 kHz (komunikace s ponorkami, bezdrátové měřiče pulsů). Dále antény rozdělujeme podle způsobu využití např. přenosné antény, mobilní antény, stacionární antény a také jako přijímací, vysílací nebo jako přijímací a vysílací zároveň, dále prutové, drátové a trojrozměrné antény, které se liší konstrukcí. Podle vyzařování charakteristiky dělíme antény na směrové a všesměrové. Antény také dělíme podle pásma jejího pracovního kmitočtu. [2]

Následující vzorec (1.1) popisuje vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí. Délka antény se odvíjí od použitého kmitočtu. Vlnová délka je nepřímo úměrná kmitočtu [1]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Kde:

$\lambda$  - vlnová délka [m]

c - světelná rychlost ( $3 \times 10^8$  m/s přesněji 299 792 458 m/s)

f - kmitočet [Hz]

Každá anténa je charakterizována šířkou pásma antény a jejím rezonančním kmitočtem, vstupní impedancí, ziskem antény, činitelem stojatých vln a vyzařovacím odporem antény. Tyto podobné funkce jsou jak pro antény přijímací, tak pro antény vysílací. Rozdíl mezi těmito anténami je takový, že přijímací anténa přeměňuje energii elektromagnetických vln na energii elektrickou a anténa vysílací přeměňuje elektrickou energii na energii elektromagnetických vln.

Pro antény směrové jsou charakteristické tyto parametry: šířka hlavního svazku, a předozadní poměr ve vertikální a horizontální rovině. [2]

### Směrové antény

Většina zařízení, pracujících v oblasti velmi krátkých vln, vyžadují pro správnou činnost účinnou anténu, a to anténu směrovou. Anténa se připojuje jak k vysílači, tak k přijímači. Tato anténa svými vlastnostmi podstatným způsobem ovlivňuje množství energie vysílané daným směrem, a tím i intenzitu elektromagnetického pole v místě příjmu (anténa vysílací), tak i velikost napětí na vstupu přijímače, a tím i poměr signál/šum (anténa přijímací). Směrová anténa je anténa, která soustřeďuje energii z jednoho nebo více směrů na úkor směrů ostatních, nebo která dává na vstupu přijímače větší napětí při příjmu elektromagnetických vln přicházejících z jednoho nebo více směrů proti příjmu vln přicházejících s ostatních směrů. Existuje značné množství různých typů směrových antén, užívaných na VKV, UKV pásmech. [1] V této práci bude popsána hybridní smyčková anténa Quagi, anténa Yagi-Uda (Yagi) a anténa Quad.

#### 1.1 Yagi-Uda anténa

Yagi-Uda anténa je nepochybně již desítky let nejrozšířenějším typem směrových antén, u mnoha zařízení pracujících v oblasti metrových a decimetrových vln. Tento anténní systém se skládá z několika prvků. Mezi tato zařízení je třeba zahrnout jak přijímače a vysílače na amatérských VKV pásmech o frekvencích 145 MHz a 435 MHz (vyhoví dobře i frekvenci na 1250 MHz pásmo UKV), tak přijímače pro televizi (TV) a FM rozhlas a mnohé další účely. [3]

##### 1.1.1 Historie Yagi-Uda antény

Yagi-Uda anténu vynalezli v roce 1925 japonští vědci Hidetsugu Yagi a Shintaro Uda na univerzitě Tohoku Imperial. První práce o této anténě byla publikovaná v roce 1926. V roce 1928 Hidetsugu Yagi sepsal první anglický popis antény a proto je jeho jméno častěji spojováno s touto anténou. První použití antény bylo u radarů za II. světové války, kde se využívalo její jednoduchosti a směrovosti. V zemi svého původu však zůstala až do konce II. světové války prakticky neznámá. Byla použita pouze dvakrát, a to k rádiovému spojení mezi městem Sakata a 40 km vzdáleným ostrůvkem Tobišima, a také ke spojení mezi městečkem Niigata a 50 km vzdáleným ostrůvkem Sago. V Evropě i Americe se v té době používala Yagi-Uda anténa běžně. Ke změně v Japonsku došlo až 15. února 1942, kdy japonská armáda obsadila pevnost Singapur - základnu Spojeného království pro nadvládu nad Orientem. Tam padla japonské armádě do rukou radarová zařízení Spojeného království, spolu s dokumenty operátora radaru. Japonské armádě bylo jasné, že jde o mimořádný výkonný radar. Dokonce i na atomových bombách, svržených na Hirošimu a Nagasaki, byly nainstalovány antény Yagi-Uda, a to pro určení výše exploze nad zemí. Říká se, že ve II. světové válce byly japonské síly překvapeny a překonány soupeřovým radarem, vybaveným japonskými anténami. Když v roce 1951 jeden z vynálezců Yagi-Uda antény, Shintaro Uda, navštívil americké San Francisco, tak řekl: „*Jakmile jsem vstoupil do města, mé srdce se zatetelilo radostí, když jsem kolem viděl střechy*

*soukromých domů posety anténami, jejichž jsem byl původcem. Dosud jsem se cítil ponížen tím, že jsem byl nositelem principu, který nepřítel použil jako zbraň. Stejně antény stojí nyní před mýma očima na střechách mnoha domů. Uvědomuji si, že se tato anténa používá na celém světě. To je pro výzkumníka pocta ex officio a já za nezasloužené štěstí vzdávám svůj dík."* [3]

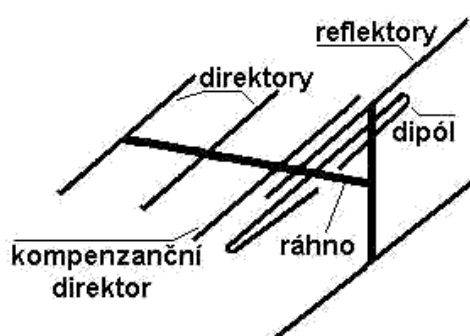
### 1.1.2 Výhody, nevýhody Yagi-Uda antény

Za svou popularitu vděčí Yagi-Uda anténa zejména jednoduché konstrukci, snadné reprodukovatelnosti (stavby této antény), a dobrým elektrickým vlastnostem. Mezi další výhody tohoto typu antény patří kompaktní rozměry, nižší cena a nízká hmotnost. Anténám podobným Yagi-Uda anténě říkáme souhrnně antény s velkým ziskem, což je také výhodou. [4]

Nevýhodou této antény oproti například parabolickým anténám jsou horší mechanické a fyzikální vlastnosti. Antény typu Yagi-Uda mohou být navrženy jako vícepásmové, tento návrh je však komplikovaný, jelikož používá kombinaci rezonančních obvodů, neexistuje žádná lineární závislost mezi těmito rozměry: průměr a délka elementů, elektrickými veličinami jako jsou vstupní impedance a také zisk antény. Návrhy různých antén vychází z experimentů, modifikací stávajících antén či počítačových návrhů. [5]

### 1.1.3 Charakteristické vlastnosti

Yagi-Uda anténa se skládá z jednoho aktivního prvku a několika prvků pasivních např. direktory a reflektory, viz (obr. 1.1). Aktivním prvkem je symetrický dipól, nebo dipól skládaný, který většinou pracuje ve čtvrt-vlnné rezonanci. Pasivní prvky jsou tvořeny dipóly bez napájení. Jeden pasivní prvek, jehož délka je větší než délka aktivního prvku, je umístěn vzadu a hraje roli reflektoru. V praxi může být reflektorů i více, vytváří tak odraznou (reflektorovou) stěnu. Reflektor soustřeďuje u vysílací antény energii vyzařovanou zářičem směrem k direktorům, tedy do směru vysílání. U přijímacích antén reflektory zpět odráží část energie, která nebyla zářičem zachycena, a tím zvyšují zisk. [6]



Obrázek 1.1: Popis antény Yagi-Uda [6]

Ostatní pasivní prvky, které jsou kratší než aktivní prvek a které jsou umístěny vpředu, jsou takzvané direktory. Znakem této antény je prvek, který se nazývá dipólový zářič, je

připojen na vysokofrekvenční napáječ. Dipólový zářič Yagi-Uda antény je většinou tvořen půlvlnným dipólem, zřídka celovlnným. Impedance jednoduchého dipólu je malá a proto se impedance zvětšuje pomocí vytvořeného skládaného dipólu. Direktory bývají kratší v porovnání se zářičem, naopak reflektor bývá delší o 5 %. [3]

Direktory jsou umístěny před dipólem. Toto uspořádání zvětšuje směrovost antény v porovnání oproti samotnému dipólu. Direktor umožňuje vznik vlny vedené podél antény, takže se zvětšuje prostorová oblast, z níž může energie přejít do napáječe, a tedy se zvětšuje zisk a efektivní plocha antény. Jednotlivé direktory se zkratovanými svorkami jsou v podstatě dipóly. Vlna přijatá direktorem se od zkratu odráží a je zpět vyzářena s fázovým zpožděním daným délkou direktoru. Pokud jsou vzájemné rozteče direktorů v souladu s fázovými posuvy vyzářovaných vln, vznikne vedená vlna, která energii s přispěním reflektoru předá prostřednictvím zářiče do napáječe. Rozměry, počet a vzájemné rozteče direktoru mají rozhodující vliv na směrové vlastnosti antény. Významné postavení mezi direktory zaujímá kompenzační direktor, který je umístěn nejbližší zářiče. Ten má největší vliv na výslednou impedanci zátěže, takže je možné jeho polohou vzhledem k zářiči kompenzovat vliv ostatních prvků antény na jeho impedanci. Vzdálenost kompenzačního direktoru od zářiče vychází zpravidla podstatně menší než rozteče ostatních direktorů, jeho délka bývá kratší než délka direktoru druhého v pořadí. [3]

Jako každá směrová anténa má i Yagi-Uda směrová anténa dvě základní elektrické vlastnosti, a to vyzářovací (příjmové) a vlastnosti impedanční (resp. přizpůsobení na použitý napáječ). Vyzářovacími vlastnostmi je dán činitel směrovosti, a při respektování energetické účinnosti antény i zisk. [1]

### 1.1.4 Zisk antény

Zisk Yagi-Uda antény je dán především celkovou délkou antény. Délky a rozteče pasivních prvků, zejména direktorů, je třeba uspořádat tak, aby byly vytvořeny podmínky pro dosažení maximálního zisku, odpovídajícího délce antény. I přes různá optimální uspořádání direktorů však u antén stejné délky dojdeme prakticky ke stejnému zisku. Yagi-Uda antény jsou běžně vyráběny s vyšším ziskem (přes 10 dB) a dělají z nich jasnou volbu pro směrové antény ve VKV a UKV komunikačních systémů, kde jsou dostačující úzkopásmové antény. Na vyšších frekvencích UKV a centimetrové vlny (CKV) se používají parabolické reflektory. Hlavními vlastnostmi antény jsou velká směrovost a zisk. Při použití výkonné Yagi-Uda antény musíme dbát na správné umístění tj. co nejvíce nad zem a na nevodivé okolí antény. Yagi-Uda antény lze rozdělit do dvou skupin: úzkopásmové (kanálové) a širokopásmové (pásmové). Z principu konstrukce jsou antény Yagi-Uda úzkopásmové, a tím pádem širokopásmové Yagi-Uda antény mají nevyrovnaný zisk na začátku a konci přijímaného pásma. Rozladění antény může dosahovat až 50 %, to znamená, že na začátku pásma má anténa poloviční zisk a směrovost. Výkonné kanálové antény lze spojovat do soustav, například pro dálkový příjem velmi vzdálených a slabých signálů. [7]

### 1.1.5 Směrovost antény

Směrovost antén se získává dvojnásobem. U plošných antén se do plochy vedle sebe řadí více základních zářičů-dipólů. U antény typu Yagi-Uda se do jedné řady řadí další prvky za, nebo před základní zářič. V řadě prvků anténního systému Yagi-Uda je napájen jen jeden prvek-zářič a ostatní prvky jsou pouze buzené indukci z předchozího prvku. Zářičem bývá půlvlnný dipól, nebo častěji dipól skládaný. [6]

### 1.1.6 Parametry Yagi-Uda antény

Všechny hlavní parametry antény Yagi-Uda antény, tj. směrovost, činitel zpětného záření, impedanční přizpůsobení a tvar diagramu záření, spolu navzájem souvisí prostřednictvím základních rozměrů antény: délky, průměrů vodičů, počtu prvků a jejich vzájemné vzdálenosti. [8]

Yagi-Uda anténa je směrová podél osy, kolmá k direktorům, dipólu a reflektoru. Typicky mají jednotlivé elementy antény rozestup roven čtvrtině vlnové délky. Všechny elementy jsou umístěny ve stejné rovině a vzájemně jsou připojeny na stejné ráhno, i když to nemusí být pravidlem. Kupříkladu komerční televizní anténa je obvykle doplněna několika reflektory, které vzájemně vytvářejí reflektor úhlový. [8]

Po nastavení požadovaných směrových vlastností se provádí přizpůsobení v obvodu aktivního prvku-zářiče, většinou jednoduchého skládaného dipólu. Jeho impedanci, tj. impedanci celé antény, ovlivňují především nejbližší pasivní prvky, jejich délka a vzdálenost od dipólu, nikoliv jejich počet. Impedance delších Yagi-Uda antén neklesá zpravidla ani na 1/3 původní impedance vlastního zářiče-dipólu. [3]

Venkovní antény jsou trvale vystaveny veškerým atmosférickým vlivům. Musí být proto konstruovány tak, aby zůstaly trvale zachovány jejich původní vlastnosti. Nevhodnou konstrukcí, špatnou volbou materiálu či nesprávnou povrchovou úpravou, lze antény s dobrými elektrickými vlastnostmi po určité době používání znehodnotit. Stejně důležité je i hledisko snadné montáže a bezpečnosti. Jak již bylo zmíněno dříve, jednou z velkých předností Yagi-Uda antény, které přispěly k jejímu rozšíření, je právě jejich poměrně jednoduchá konstrukce. [3]

### 1.1.7 Využití Yagi-Uda antény

Yagi-Uda anténa s dobrými elektrickými vlastnostmi je široce používaná radioamatéry pro komunikaci v pásmu krátkých vln, přes pásma kmitočtů VKV a UKV až po mikrovlnná kmitočtová pásma. Radioamatéři rádi konstruují tento typ antény, a proto je v odborných časopisech popsáno mnoho návrhů a počítačových programů. Tyto antény mají široké možnosti použití v radioamatérství např.: radioamatérské rádio, radioamatérské vysílání, příjem televize, přijímač TV, příjem Wi-Fi, FM rozhlas. [6]



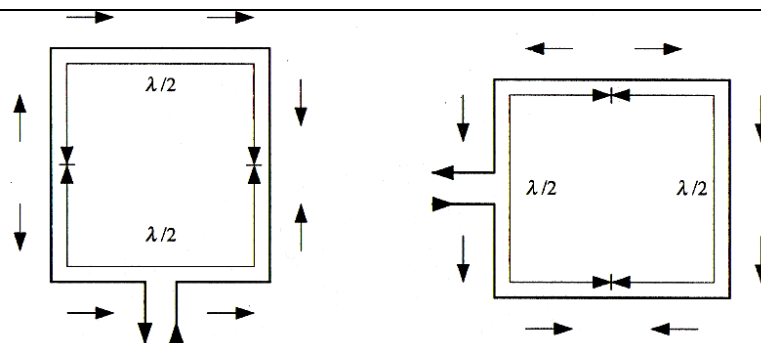
## 1.2 Quad anténa

Quad anténa (obr. 1.2) je směrová a sestává se ze zářiče ve tvaru celo-vlnné smyčky a reflektoru stejného tvaru, anténa je opatřena také doladovacím pahýlovým vedením. Ladící pahýlové vedení umožňuje naladění reflektoru a nastavení vhodného činitele zpětného záření. Quad anténa má tvar smyčky, která může být čtvercová, kulatá, nebo mít nějaký jiný tvar. Anténa se používá v pásmu krátkých vln KV v rozmezí 3-30 MHz. Tuto anténu lze však zkonstruovat i pro pásmo VKV v rozmezí 30-300 MHz, nebo také UKV v rozmezí 300-3000 MHz. Quad anténa je často používána radioamatéry stejně jako anténa Yagi-Uda a Quagi anténa. [9]

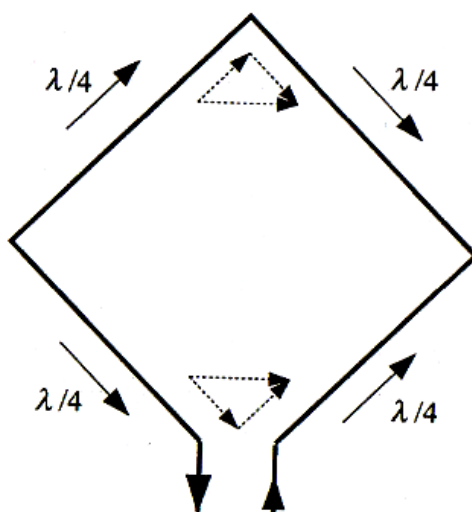


Obrázek 1.2: Čtvercová Quad anténa [9]

Quad anténu můžeme považovat za anténu smyčkovou celo-vlnnou, je tvořena obvykle čtvercovým rámem, jehož vodič má délku  $\lambda$  a je napájen uprostřed jedné čtvrt-vlnné strany. V okolí rezonančního kmitočtu je rozložení proudů podél všech čtyř vodičů takový, že pouze na dvou protilehlých stranách vodičů čtverce existují proudy ve fázi, takže se vytváří dvouprvková řada anténních zářičů, jejichž délka je  $\lambda/4$  a jsou od sebe navzájem vzdáleny též  $\lambda/4$ . Na bočních stranách čtverce tečou vysokofrekvenční proudy v proti-fázi a jejich vyzařovací účinek se ruší. V místě napájení a v protilehlém vodiči existují maxima proudu a minima napětí. Anténa v tomto provedení má zisk kolem  $1\text{dB}_d$ . Podle umístění místa napájení je možné pracovat buď s horizontální (obr. 1.3) nebo vertikální polarizací (obr. 1.4). Přímo proti místu napájení existuje minimum napětí, kde je možné anténu v případě potřeby uzemnit. Anténa v pásmu KV závisí na výšce umístění nad zemí. Celo-vlnnou čtvercovou smyčkovou anténu, tedy Quad anténu, je možné napájet též z jednoho vrcholu. Rozložení proudu je stejné jako při napájení uprostřed jedné ze stran čtverce, rozdíl je v tom, že soufázové proudy v místě napájení a v protilehlém vrcholu se vektorově sčítají (vyznačeno čárkovaně) na (obr. 1.4) a vytváří tak fiktivní soufázové paralelně orientované proudy, které opět tvoří dvojici prvků řady antén s příčným vyzařováním. Napájení z vrcholu umožňuje uspořádat dvě nebo více Quad antén nad sebou a vytvořit tak více prvkovou řadu podobnou systému. [10]



Obrázek 1.3: Horizontální polarizace Quad antény [10]



Obrázek 1.4: Vertikální polarizace Quad antény [10]

### 1.2.1 Historie Quad antény

Quad anténa patří taktéž mezi směrové antény. Tento druh antén vznikl poněkud kuriózně. Quad anténa byla vyvíjena mnoha vynálezci. V roce 1939 bylo potřebné vybudovat misijní rozhlasovou stanici HCBJ, vysílač s výkonem 10 kW na 20ti metrové pásmo od antény. Měl hlásat evangelium a informovat obyvatele Equadoru o misijní činnosti. Amatérští inženýři, kteří vysílač nedaleko města Quita ve výšce 3000 m. n. m. budovali, se dostali do velkých potíží. Čtyř-prvková vysílací anténa s lineárními prvky, kterou sestavili, fungovala pouze krátce. Mohutné koronární výboje vystupující z konců elementů antény při vysílání ve vysoko-nadmořské atmosféře zahřívaly hliníkové trubky antény. Jejích konce se roztahovaly, hliník odkapával na zem. Docházelo k neplánovanému zkracování, a tudíž ztrátě funkčnosti antény. Mezi inženýry pracoval i amatér Clarenc C. Moore. Uvědomil si, že v tak vysoké nadmořské výšce může odolat pouze anténa bez hrotů a ostrých hran. Dostal nápad a to „roztáhnout“ skládaný dipól tvaru čtvercové smyčky se stejnou délkou obvodu. V tomto okamžiku byl na světě první Quad. Patentován byl v USA v roce 1947. [10]

### 1.2.2 Charakteristické vlastnosti Quad antény

Anténa Quad je jednoduchou směrovou anténou s určitým ziskem při malých rozměrech a velmi nízkých nákladech na stavbu. [11]

Tato anténa je často nazývaná „královnou směrovek“. Jejím základním prvkem je celovlnná smyčka. Aktivní element antény je tvořen obvykle čtvercovým rámem. Anténu je možno použít jak pro vertikální, tak i horizontální polarizaci. Elementy čtvercového tvaru jsou požívány pro stavbu Quad antén zejména pro KV a VKV pásma. Na pásmech UKV obvykle převažuje kruhový tvar elementů. Pro doplnění je nutno dodat, že se využívají také elementy šestiúhelníkového tvaru. [10]

### 1.2.3 Výhody a nevýhody Quad antény

*„Quad je jediným systémem, kterým se dá bez větších problémů překrýt i nejširší amatérské pásmo 10m s ještě vyhovujícím PSV.“* (PSV – poměr stojatých vln) [7]

Mezi výhody Quad antén patří nízké pořizovací náklady a menší rozměry (délka ráhna je např. 2m pro pásmo 20m). Další výhodou je, že můžeme jednoduše rozpojit každou smyčku a anténním rezonátorem zjistit přesně její rezonanci. Mezi výhody Quad antény můžeme také zahrnout jednodušší konstrukce, větší zisk, kvalitnější příjem a také efektivnější výsledky v nižších nadmořských výškách. Při čtvercovém uspořádání elementů přináší anténa nesporné výhody, zejména v úspoře materiálu a relativně jednodušší konstrukci při minimálním obestavěném prostoru. [12]

Mezi nevýhody Quad antény patří menší mechanická odolnost proti mrazu a větru. Odrazující je také vysoká pořizovací cena hotové Quad antény (od 7.500,- do 90.000,- Kč). Z toho důvodu se část amatérů rozhodne anténu sestavit vlastními silami. Sestavit tuto anténu nebývá příliš složité, horší je to s laděním - k ladění obvykle není dostupný dostatek informací. Ve výsledku mohou být stavitelé při prvních zkouškách pracně vytvořené antény velmi zklamáni. [10]

### 1.2.4 Srovnání antén Yagi-Uda, Quad a Quagi:

Oproti anténám Yagi-Uda se Quad jeví jako tichá anténa. Důvodem je korona na špičatých koncích prvků a dipólu. Někteří autoři také, jako další výhodu oproti Yagi-Uda anténě, udávají její jednodušší nastavení pro jednotlivá pásma. *„Ve srovnání s dvouprvkovou anténou Yagi-Uda je u antény Cubical-Quad (Quad antény) zisk o 1,5dB vyšší, a asi o 0,6 až 0,8 dB nižší než u optimálně nastavené antény Yagi-Uda tříprvkové.“* [12]

Výhodou Quagi antény v porovnání s anténou Yagi-Uda (podle simulace v programu MMANA) je větší zisk, větší šířka pásma a lepší předozadní poměr.

## 2 Quagi anténa

Quagi anténa je hybridní smyčková a také směrová anténa. Název Quagi vznikl spojení názvů antén, ze kterých se skládá, a to z antény Yagi-Uda (Yagi) a z antény Quad. [8]

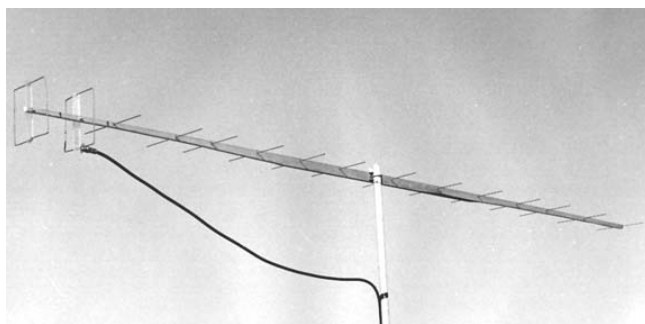
### 2.1 Historie Quagi antény

Historie vzniku této hybridní antény sahá do padesátých let minulého století. V té době antény Yagi-Uda a Quad mezi sebou soupeřily v popularitě. Někteří vědci začali uvažovat o možném propojení obou typů antén ve snaze dosáhnout větší výkonnosti při nízkých nákladech. Anténu Quagi sestavil Will Anderson nahrazením prvku Yagi-Uda antény smyčkou antény Quad. Došlo k okamžitému navýšení zisku o více než 3 dB. První prototyp antény Quagi byl vyvinut a použit v roce 1972 na západním pobřeží v Santa Clara, v Kalifornii. První článek o fungování Quagi antény byl publikován v Bulletinu Jižní Kalifornie ve VHF klubu v témže roce. Informace o těchto jednoduchých a účinných anténách se začaly rychle šířit. V dubnu v roce 1977 představuje časopis QST 8-prvkovou anténu Quagi. V únoru 1978 následuje navazující článek o 15ti-prvkové anténě. Anténa Quagi se brzy stala populární i v jiných částech světa, například v Sovětském svazu či Indii. [8]

### 2.2 Charakteristické vlastnosti Quagi antény

Quagi anténa v sobě kombinuje žádoucí rysy antény Yagi-Uda a krychlové antény Quad. Používá stejnou strategii jako anténa Yagi-Uda, nicméně Quagi má místo lineárních prvků smyčky, tyto prvky nejsou přímé. Kromě nejběžnějších čtvercových smyček, mohou mít prvky Quagi i jiné tvary například: trojúhelník, kosočtverec, nebo také kruh. [2]

U Quagi antény bývají první dva prvky čtvercové smyčky, následují direktory - jednoduché rovné, drátové prvky, stejně jako u tradiční antény Yagi-Uda. První smyčka je reflektor, druhý je zářič, viz (obr. 2.1). [9]



Obrázek 2.1: Quagi anténa s dvěma čtvercovými smyčkami [9]

### 2.3 Výhody a nevýhody Quagi antény

Masové rozšíření Quagi antény ve světě zaručilo její nesporné výhody. Patří k nim kromě již zmíněného vyššího výkonu, menší rozměry (zejména u rozměrově menších vysílacích antén možnost vyzáření většího výkonu, nejsou však pro příjem v televizních pásmech podstatné), odolnost vůči šumům (vznikajícím v důsledku hromadění statické elektřiny), extrémní jednoduchost konstrukce či impedanční přizpůsobení. Antény nevyžadují ani opatrné zacházení, ani jemné doladění. Uplatní se tedy i v horských oblastech s nesnadným přístupem po krkolomných cestách. [8]

Výhoda Quagi antény s porovnáním anténou Yagi-Uda (podle simulace v programu MMANA) je větší zisk, větší šířka pásma a lepší předozadní poměr.

Nevýhodou jsou horší mechanické a fyzikální vlastnosti, a odolnost proti povětrnostním vlivům

### 2.4 Využití Quagi antény

Smyčková anténa Quagi je často využívána amatéry v pásmech krátkých vln s označením KV (anglicky HF - High Frequency) jsou to kmitočty o frekvencích 3-30 MHz, jejíž délka vlny je 100-10 m, radiokomunikace na střední a velké vzdálenosti. V tomto krátkovlnném vysílání mají využití jako: rozhlasové krátké vlny a amatérská pásma, amatérské rádio, amatérské vysílání. [8] Na internetu je k nalezení spousta návodů pro konstrukci tohoto druhu antény.

V mém zadání se jedná o anténu sestavenou pro pásmo UKV. Tato anténa je přímo frekvenčně postavena na pásmo o kmitočtu 433,92 MHz, využitelná je v amatérském pásmu (vlnová délka 70cm). Můžeme ji použít jako přijímací i vysílací anténu má všestranné využití např. na ovládání různých technologií, dálkové ovladače, různé frekvenční přenosy, hlavně TV přenosy, příjem, vysílačky, GPS, rádio, internet, mobilní telefony.

### 3 Praktická realizace Quagi antény

V této kapitole bude sestaven návrh Quagi antény v simulačním programu MMANA. Zvoleny kmitočet, podle kterého bude anténa navrhována a sestavována je 433 MHz (obecné pásmo). V praktické realizaci antény budou vypočteny jednotlivé parametry antény (direktory, reflektory, délka ráhna atd.), koaxiálního vedení a přesné kmitočtové pásmo, dále bude udělán návrh v zadaném simulačním programu MNANA (slouží k simulaci a návrhu antény), a nakonec bude sestavena samostatná anténa.

#### 3.1 Návrh antény

Zadaný kmitočet 433MHz, patří do UKV pásma. Toto pásmo používají např. radioamatéři při používání vysílaček. Pásmo je určeno jak pro televizní vysílání, tak pro mobilní telefony, vysílačky a navigace GPS, vedle těchto využití se využívají také komerčně, slouží pro přenos malých objemů dat. Dále je pásmo 433 MHz hojně využíváno v levnějších verzích klávesnic a bezdrátových myších, také pro komunikaci se senzory, v bytových meteorostanicích i u autíček na dálkové ovládání. Velkou nevýhodou pásma 433 MHz je, že jednotlivá zařízení mohou být rušeny. [15]

Tyto pásma patří do tzv. zkratky ISM (industrial, scientific and medical). Pásma se nazývají volná, protože jsou provozována bez licenčních poplatků, takže při použití homologovaného, schváleného zařízení není garance proti rušení. Podmínky pro provoz takovýchto zařízení jsou stanoveny všeobecným oprávněním, které vydal Český telekomunikační úřad. [15]

Tabulka 3.1: Tabulka kmitočtového plánu v kmitočtovém pásmu 430 - 440 MHz [15]

Kmitočet (MHz)	Maximální šířka pásma	Druh provozu
430.000 - 431.975	20 kHz	všechny druhy provozu
432.000 - 432.025	500 Hz	Telegrafie
432.025 - 432.100	500 Hz	Telegrafie a MGM
432.100 - 432.400	2700 Hz	Telegrafie, MGM, SSB
432.400 - 432.490	500 Hz	Telegrafie a MGM
432.500 - 432.975	12 kHz	všechny druhy provozu
433.400 - 433.575	12 kHz	FM/DV <sup>1</sup>
433.600 - 434.000	20 kHz	všechny druhy provozu
434.000 - 434.594	12 kHz	všechny druhy provozu
434.594 - 434.981	12 kHz	všechny druhy provozu, FM
435.000 - 438.000	20 kHz	Družicová služba
438.000 - 440.000	20 kHz	všechny druhy provozu

### 3.2 Výpočet rozměrů Quagiho antény

Výpočet rozměrů potřebných pro sestavení Quagiho antény vznikne spojením parametrů antén Yagi-Uda a Quad antény na přesný kmitočet. Základní vzorce pro výpočet daných hodnot jsou uvedeny níže.

Zadaný kmitočet 433 MHz tvoří obecné pásmo, výpočtem bylo zjištěno přesnější pásmo střední vlnové délky respektive kmitočtu. Kmitočtové pásmo  $f_1 = 434,790$  MHz [15] a  $f_2 = 433,050$  MHz [15] od sebe odečteme, vydělíme dvěma a tento rozdíl přičteme k nejmenšímu rozmezí pásma, k získání přesnému pracovnímu kmitočtu.

$$f_{\text{prac}} = \left( \frac{(f_1 - f_2)}{2} + f_2 \right) \quad (3.1)$$

$$f_{\text{prac}} = \left( \frac{(434,790 - 433,050)}{2} + 433,05 \right) = 433,92 \text{ MHz}$$

Přesné pásmo kmitočtu je tedy 433,92 MHz.

Nejprve byla vypočítána vlnová délka pro kmitočet 433,92 MHz. Vlnová délka představuje vzdálenost dvou nejbližších bodů, postupného periodického vlnění, které kmitají ve fázi [2]. Výpočet probíhal dle vzorce (1.1):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{433,92} = 0,691 \text{ m} = 691 \text{ mm}$$

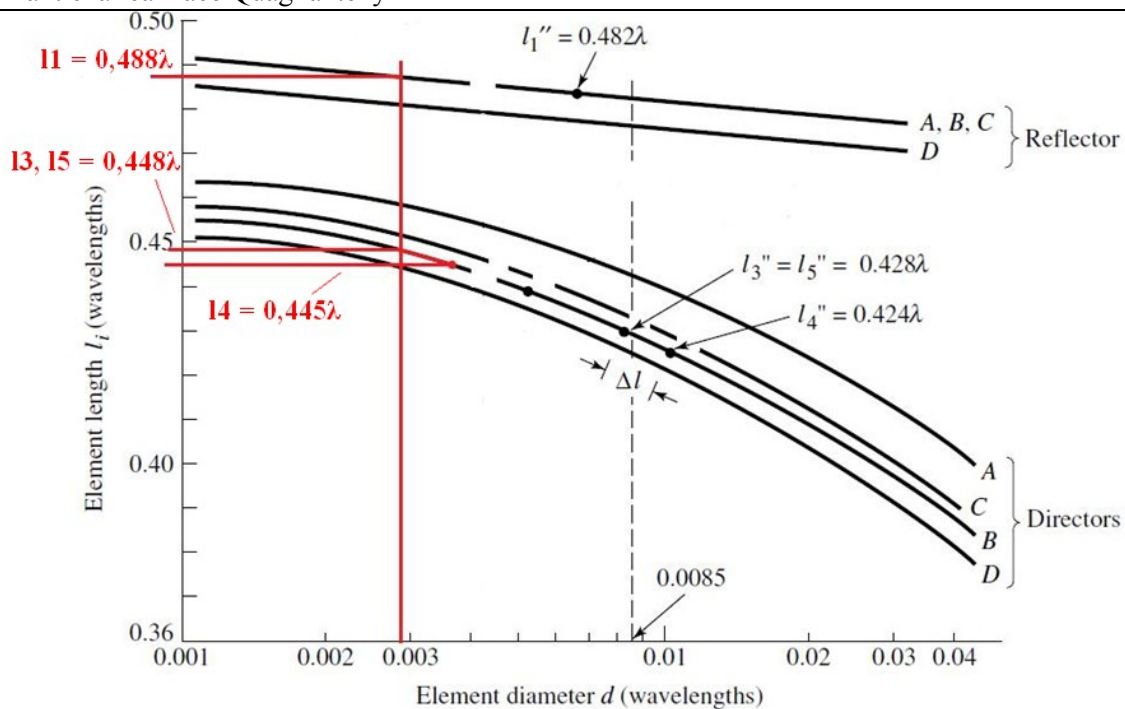
Výpočtem byla zjištěna vlnová délka antény  $\lambda = 691$  mm pro zadaný kmitočet  $f = 433,92$  MHz.

Průměr prvků (direktorů a reflektoru) je následující:

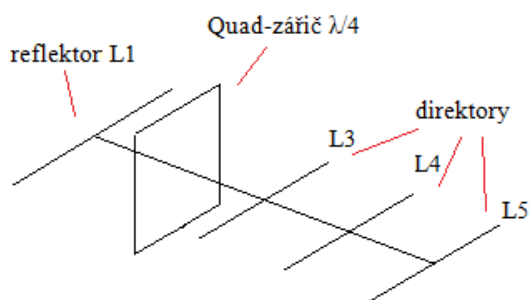
$$d = 2 \text{ mm}$$

Dále byly vypočteny hodnoty  $d/\lambda$ , tím získáme koeficient pro výpočet daných prvků [14]:

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{2}{691} = 0,0029 \text{ mm}$$



Obrázek 3.1: Normalizovaný graf křivek, sloužící k optimalizaci délek prvků antény Yagi-Uda [14]



Obrázek 3.2: Označení počítaných prvků Quagi antény

Výpočet délky reflektoru L1, prvek antény Yagi-Uda [14] (viz příloha A):

$$L1 = 0,488 \cdot 691 = 337,2 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Výpočet Quad-zářiče jedné strany [10]:

$$L_{2,3,4} = \frac{\lambda}{4} = \frac{691}{4} = 172,75 \text{ mm} \quad (3.3)$$



Výpočet délky direktoru L3, L4, L5, prvků antény Yagi-Uda [14] (viz příloha A):

$$L3 = L5 = 0,448 * 691 = 309,57 \text{ mm} \quad (3.4)$$

$$L4 = 0,445 * 691 = 307,45 \text{ cm} = 307,49 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi prvky [14]:

$$0,2 * 691 = 138,2 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Celková délka ráhna [14]:

$$0,8 * \lambda = 0,8 * 691 = 552,8 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Výpočet délky koaxiálního kabelu 50Ω:

$$\frac{\lambda}{2} * ZK * 6 = 0,3455 * 0,663 * 6 = 1374,36 \text{ mm} \quad (3.7)$$

### 3.3 Simulace Quagi antény v programu MMANA

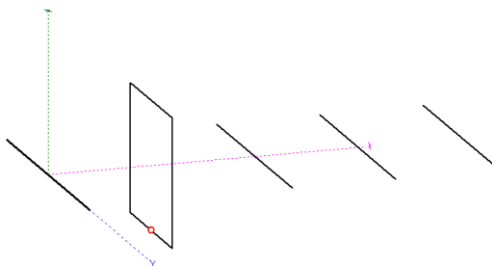
Model Quagi antény má zářič tvořený čtvercovým Quadem (pracuje jako celo-vlnná anténa) a je složen z reflektoru (nejdelší prvek antény odvozený od antény Yagi-Uda), tří direktorů (prvky antény Yagi-Uda), ráhna a přípojného koaxiálního kabelu 50 Ω. V této části bude proveden návrh v simulačním programu MMANA.

### 3.4 Program MMANA

Program MMANA se používá pro simulaci a modelování antén s využitím numerické metody, což je důležitým krokem v návrhu rádiového spoje. Tento návrh slouží k následnému sestavení antény. Program nabízí matematickou analýzu, kterou je možno získat numerické zpracování antény například: hodnoty vlnových délek, impedance, zisků a kmitočtů, grafické zpracování návrhu, průběhy zisků v závislosti na kmitočtu, vertikální a horizontální vyzařovací diagramy, samozřejmě vše v závislosti na frekvenci a rozměrech antény. Numerické zpracování umožňuje u jakýchkoliv antén optimalizovat rozměry pro získání požadovaných parametrů.

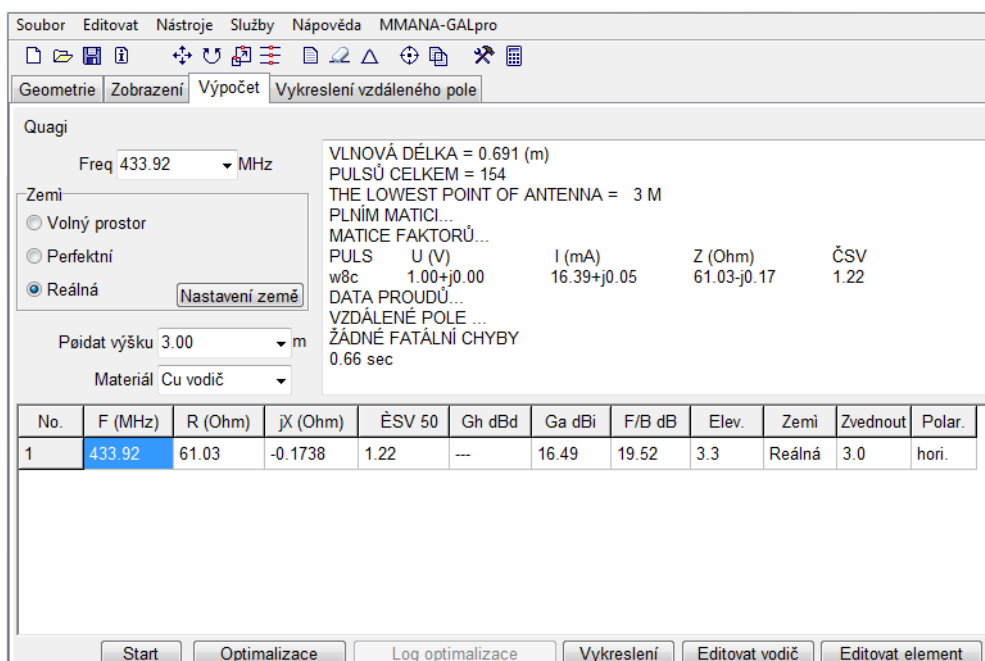
Program MMANA, je volně dostupný na internetu. Byl vynalezen japonským radioamatérem Makoto Morim. Program MMANA byl vyvinut v sedmdesátých letech v Livermore Laboratories, používá se především ve vojenském a kosmickém komunikačním.

Jádro NEC matematicky zpracovává a využívá metodu momentu. To znamená, že rozdělí anténní prvek na segmenty a spočítá vlastnosti na počítaný segment a vliv ostatních segmentů. Kombinací superpozic a chováním jednotlivých segmentů. Poté získáme výsledné vlastnosti antény. [13]



Obrázek 3.3.: Grafický návrh antény

Na pracovní ploše v programu MMANA, je záložka "Zobrazení" na ní je zobrazené schéma zadané Quagi antény (obr. 3.3). V simulačním programu MMANA je anténa umístěna v kartézském souřadném systému, kde jsou osy "x" a "y". Osy "x" a "y" jsou, rovnoběžné s povrchem země, osa "z" je k povrchu kolmá. Bod  $z = 0$  leží na povrchu země. Pomocí voleb "Zvoleného vodiče", "Středu antény" a " $X=0, Y=0, Z=0$ " lze model antény v prostoru zvětšovat a různě natáčet. Pro zvětšení proudové distribuce, která se na anténě zobrazí, až po výpočtu slouží volba "Zvětšit proudy". Před výpočtem je nutné si ověřit správné nastavení frekvence, povrchu a materiálu vodiče, vlastnosti země, při kterých bude anténa analyzována. Nastaví se výška antény nad zemí. Na pracovní ploše zvolíme volbu "Výpočet" (obr. 3.4) nastavena frekvence je 433,92 MHz. Vlastnosti povrchu pod anténou se nastaví v okně "Země"- je zvolen povrch "Reálná". Volba "Přidat výšku" znamená, že udáme výšku antény nad zemí, nastavujeme výšku 3 metry. Materiál je zadán "Cu vodič". Model Quagi antény je připraven k analýze. Spuštěním tlačítka "start" se spustí výpočet analyzované Quagi antény.



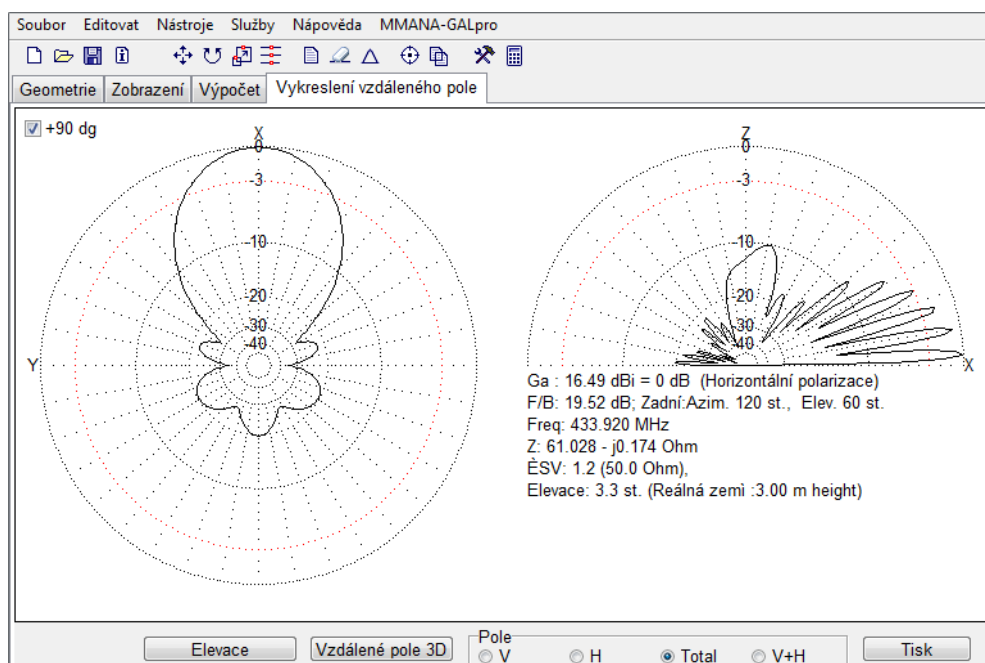
Obrázek 3.4.: Výpočet Quagi antény

## Praktická realizace Quagi antény

V tabulce v prvním řádku prvního výpočtu jsou hodnoty parametrů analyzované antény:

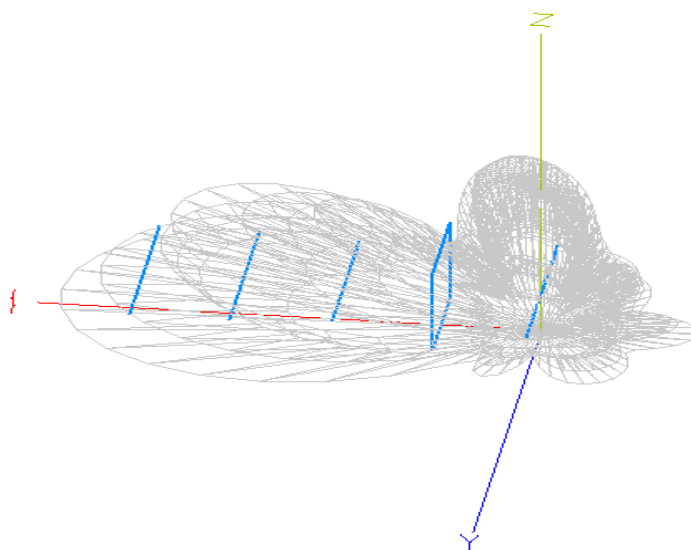
- frekvence  $f = 433,92$  MHz,
- odpor a složky a vstupní komplexní impedance  $R = 61,03 \Omega$  a  $jX = -0,1738 \Omega$ ,
- poměr stojatých vln na impedanci  $50 \Omega$   $SWR_{50} = 1,22$  (viz obrázek 3.6)
- zisk antény  $G_a = 16,49$  dBi,
- předozadní poměr  $F/B = 19,52$  dB,
- elevační úhel je úhel, pod kterým anténa vyzařuje maximum energie ve vertikální rovině Elev.  $D_g = 3,3^\circ$ .

Po stisku tlačítka start program vypočetl a vykreslil vyzařovací charakteristiky antény. Na obrázku 3.4 v pravé části je (kruhový) diagram záření v horizontální rovině, v levé části vyzařovací (půlkruhový) diagram vertikální.



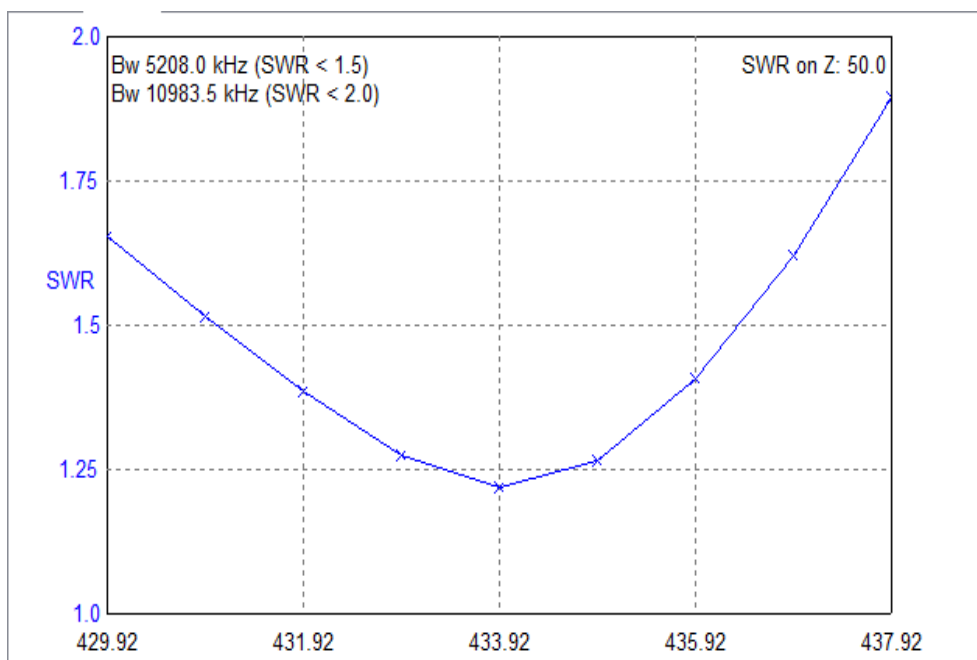
Obrázek 3.5: Vyzařovací směrová charakteristika Quagiho antény

Na obrázku 3.5 je možno zhlédnout vyzařovací diagram i v 3D zobrazení. Jak je vidět z vyzařovacích diagramů, má simulovaná Quagi anténa směrový kruhový vyzařovací diagram. Ve vertikální rovině je maximum vyzařené energie v rovině horizontu. Tyto výsledky vyhovují předpokládaným vyzařovacím diagramům.



Obrázek 3.5: Vzdálené pole ve 3D

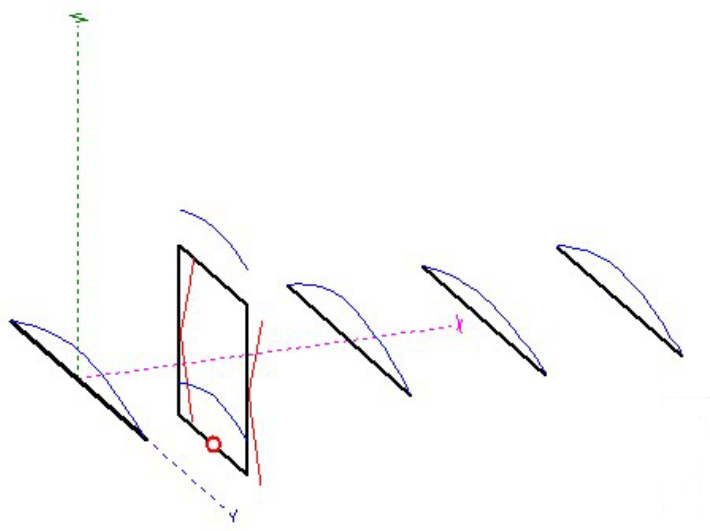
Výsledné vlastnosti antény jsou dané také jejím umístěním v prostoru. Nestejnorodost země, zakřivení povrchu, vliv překážek v okolí antény, změna vlastností napáječe vlivem klimatických podmínek, induktivní a kapacitní vazby a další jevy. Tyto jevy mají vliv na vyzařování antény a její vlastnosti, ale bohužel je nelze v programu simulovat. Rozdíly mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami zjistíme měřením antény ve skutečných podmínkách (avšak hodnoty s požadovanou přesností nemusíme vždy získat).



Obrázek 3.6: Charakteristika SWR v závislosti na kmitočtu

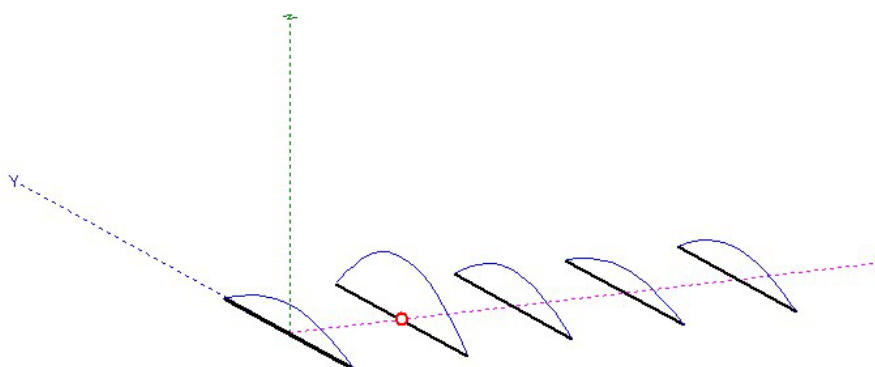
### 3.5 Srovnání antény Quagi a Yagi-Uda antény

Na obrázku 3.7 je zobrazen návrh pěti prvkové antény Quagi pro kmitočet 433,92 MHz v simulačním prostředí MMANA. Součástí Quagi antény je čtvercová smyčka (zářič) antény Quad.



Obrázek 3.7: Pětiprvková Quagi anténa

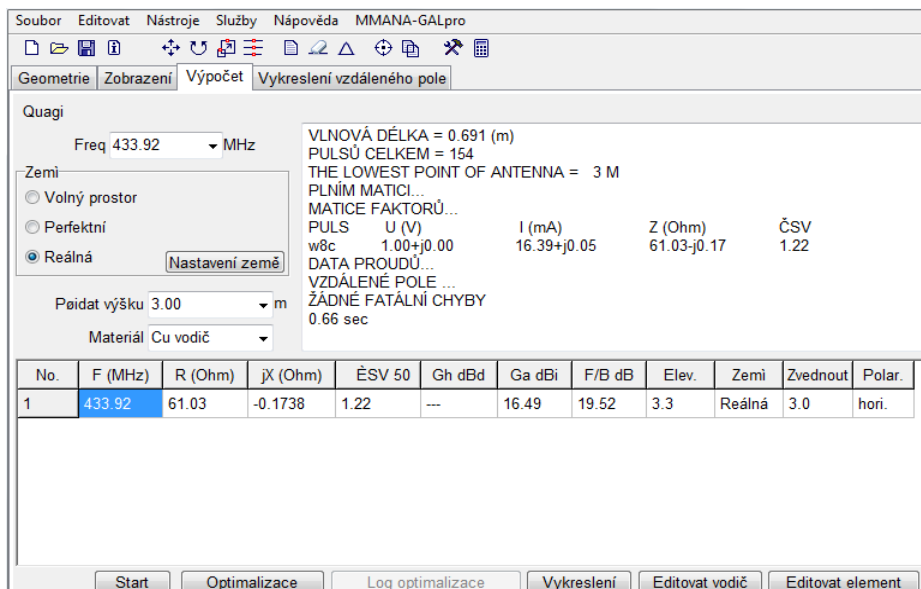
Na obrázku 3.8 je zobrazen návrh pěti-prvkové antény Yagi-Uda. Tato anténa se stejným pracovním kmitočtem, jako anténa Quagi, má stejné rozměry a odstupy jednotlivých prvků (mezi reflektorem, zářičem a direktory), ale u Yagi-Uda antény je zářič tvořen prostřednictvím půl-vlnného dipólu.



Obrázek 3.8: Pětiprvková Yagi-Uda anténa

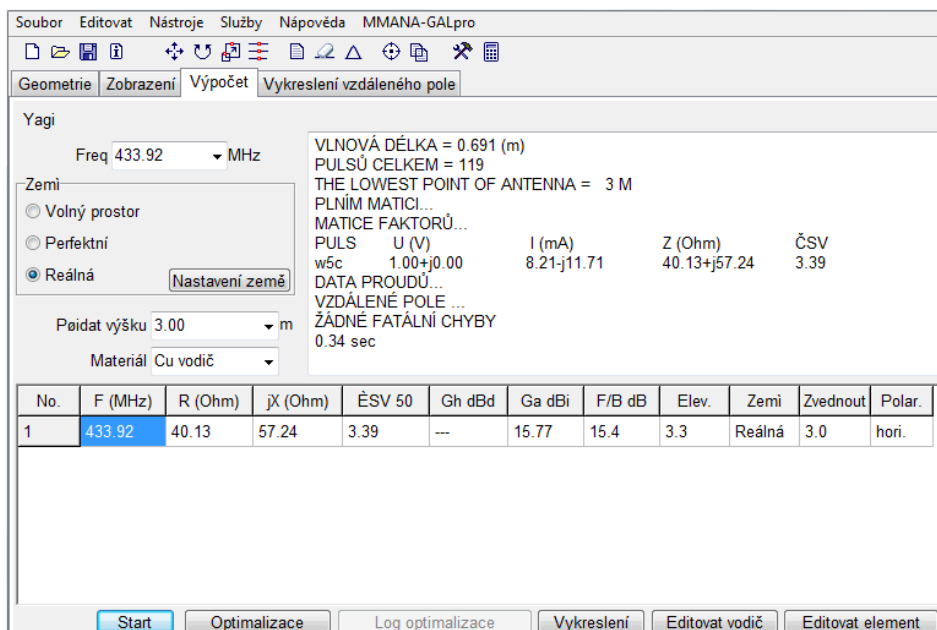
## Praktická realizace Quagi antény

Na obrázku 3.9 je zobrazen výpočet parametrů antény Quagi v simulačním programu MMANA. Pracovní kmitočet této antény je 433,92 MHz. Jednotlivé prvky antény jsou tvořeny z “Cu vodiče” v programu MMANA. Anténa je umístěna nad zemí (reálná) v třímetrové výšce.



Obrázek 3.9: Simulace výpočtů parametrů Quagi antény

Vyzařovací odpor takto navrhované antény je 61,03  $\Omega$  a parametr SWR (poměr stojatých vln) přizpůsobení k impedanci napáječe s impedancí 50  $\Omega$  je 1,22. Zisk takto navrhované antény je 16,49 dBi a maximum vyzařované energie je pod úhlem 3,3  $^{\circ}$ .

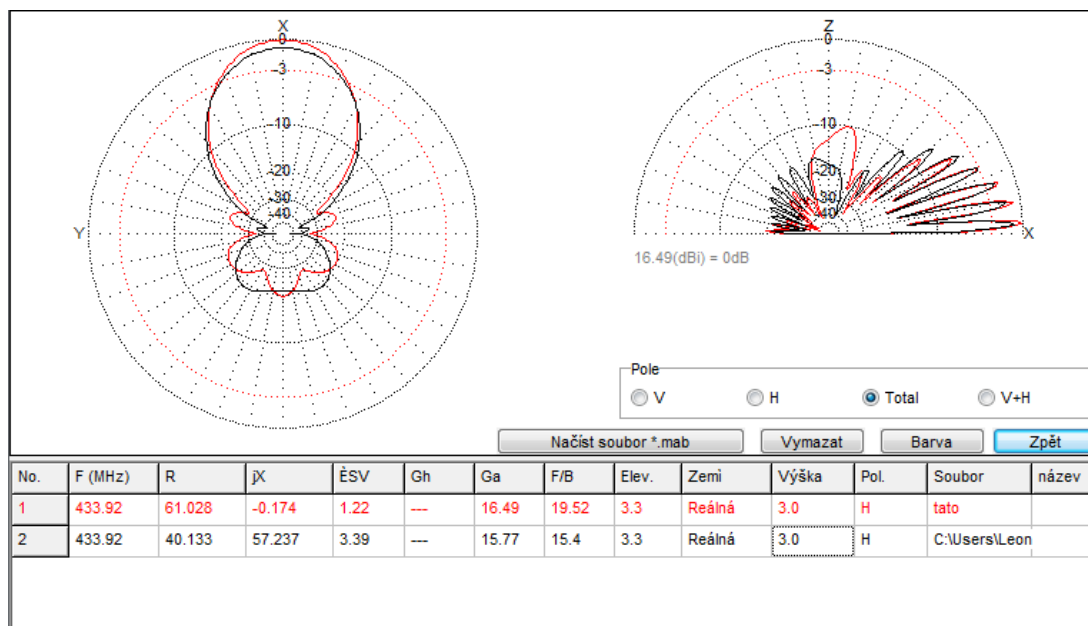


Obrázek 3.10: Simulace výpočtů parametrů Yagi-Uda antény

## Praktická realizace Quagi antény

Anténa Yagi-Uda (Obr. 3.10) se shodným pracovním kmitočtem je umístěna také ve stejných podmínkách a je vyrobena ze stejného materiálu jako anténa Quagi (viz příloha B, C).

Ze simulací (Obr. 3.11) je patrné že Yagi-Uda a Quagi, vyzařují ve stejné šíři a jsou tudíž stejně směrové. Anténa Quad vyzařuje větší množství energie z kolmo k místu zářiče, než je tomu u antény Yagi-Uda. Avšak Quagi anténa má lepší parametry (lepší vyzařovací odpor, lepší PSV, větší zisk, také lepší předozadní).



Obrázek 3.11: Srovnání vyzařovacích diagramů antén Quagi a Yagi-Uda (červenou barvou je označena anténa Quagi a černou anténa Yagi-Uda)

Ze simulace vyzařovacího diagramu Quagi antény vyznačeno červenou barvou je patrné, že tato anténa vyzařuje elektromagnetické vlny v horizontální polarizaci. Ze simulace vyzařovacího diagramu Yagi-Uda antény vyznačeno černou barvou je patrné, že tato anténa vyzařuje elektromagnetické vlny stejně jako anténa Quagi v horizontální polarizaci.

## 3.6 Konstrukce

V této kapitole bude popsán vlastní postup konstrukce Quagi antény. Jako konstrukční materiál ráhna Quagi antény bylo zvoleno vysušené dubové dřevo, direktory a reflektor byly zhotoveny z ocelového poměděného drátu.

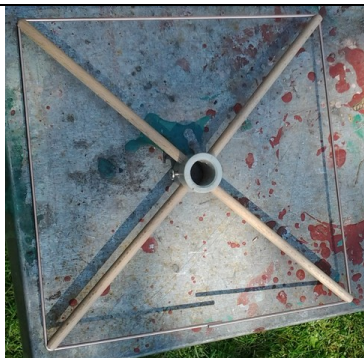
- dřevěné dubové ráhno o průměru 15 mm,
- spojka na vodovodní trubku o vnitřním průměru 15 mm, venkovní průměr 23,5 mm,
- dřevěná konstrukce pro zářič je zhotovena z dubové kulatiny o průměru 6mm a délce 12 cm,
- zajišťovací šroubek o průměru 3,5 mm,
- 3ks ocelového poměděného drátu (3 metry) o průměru 2mm,
- 2ks pájecích šroubovacích oček na kabel,
- 2ks matky o průměr 3mm,
- 2ks šroubky délka 10mm o průměru 3mm,
- pocínovaný, dvoustranný plošný spoj (svorkovnice),
- 1ks feritového jádra,
- koaxiální kabel 50  $\Omega$ ,
- sekundové lepidlo,
- cín,
- pájecí kapalina pro spojení poniklovaných předmětů,
- kalafuna.



Obrázek 3.12: Vybraný materiál k sestavení Ouagi antény

Jako první byl sestaven kříž, který slouží k uchycení zářiče (viz obr. 3.13). Do vodovodní spojky bylo navrtáno 5 přesných děr, do kterých byly následně nasazené 4 kusy dřevěné dubové kulatiny, aby se vytvořil kříž pro uchycení zářiče. Do poslední díry ve vodovodní spojnici byl našroubován šroubek, který poslouží k posuvu na ráhnu i k pevnému uchycení. Do dřevěných dubových kulatin byl nakonec navrtán výřez, který poslouží k správnému uchycení daného zářiče, aby nevypadl.





*Obrázek 3.13: Dřevěná konstrukce (kříž) pro uchycení zářiče*

Poté byly naměřeny 3 prvky tzv. direktory a 1 reflektor z ocelového poměděného drátu dle výpočtu a návrhu v programu MMANA, dráty byly zkráceny kleštěmi na potřebnou délku a ostré hrany byly obroušeny pilníkem.

Do dřevěného ráhna byly navrtány 4 přesné díry o průměru 2 mm pro uchycení daných direktorů a reflektoru o průměru 2mm, které byly po přesném nastavení polohy zalepeny sekundovým lepidlem (viz obr. 3.14).



*Obrázek 3.14: Dřevěné ráhno a v něm uchycené prvky ocelového poměděného drátu (direktory)*

Následně byla použita svorkovnice plošného pocínovaného spoje pro uchycení středového výstupu antény (viz obr. 3.15). K výrobě byla použita kalafuna, cín a kapalina na cínování poniklovaných předmětů.



*Obrázek 3.15.: Detail výstupu ze zářiče*

### Praktická realizace Quagi antény

Vývody zářiče byly pocínované a následně připájené k plošnému spoji (svorkovnici), který slouží, jako výstup antény. Na vedení byl použit koaxiální kabel 50  $\Omega$ , následně obě strany daného kabelu byly odizolovány a připájeny na pájecí očka. Na koaxiální kabel byl připojen kus feritového jádra, které slouží místo symetrizačního členu, který zabraňuje šíření plášťových proudů po plášti kabelu, jedná se o tzv. feritový balun (<http://www.ok5im.com/baluny.htm>). Na obrázku 3.16 je kompletně sestavená Quagi anténa, připravena na měření.



*Obrázek 3.16: Hotová Quagi anténa*

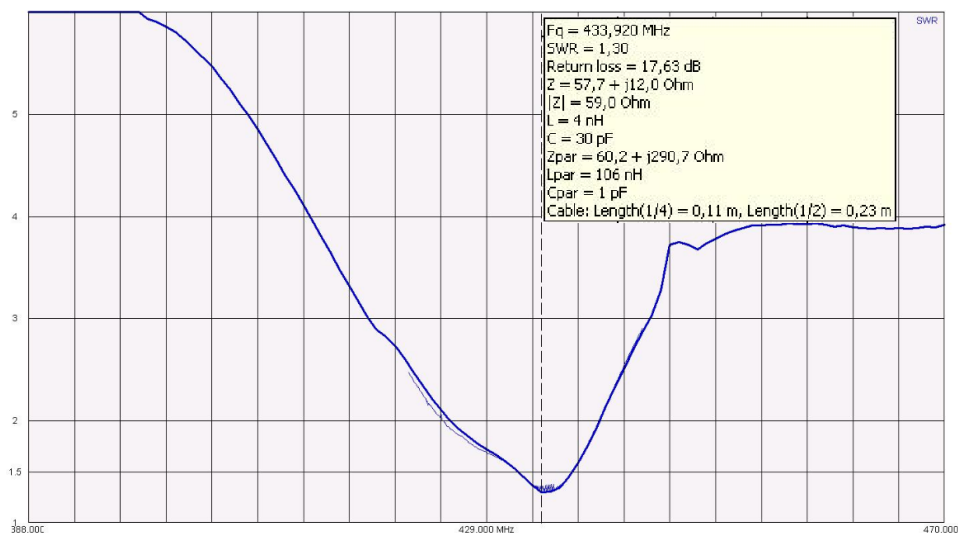
## 4 Ověření správnosti návrhu a konstrukce měřením

V této části byla proměřena správnost návrhu a konstrukce anténním digitálním analyzerm "Rig Expert Antenna Analyzer AA-520" (obr. 4.1), který byl zapůjčen z katedry telekomunikační techniky na VŠB-TUO. Anténní analyzátor AA-520 je určený pro testování a rychlé kontrole parametrů antény, také k ladění antén v kmitočtovém rozsahu od 1 – 520 MHz. Mezi hlavní funkce anténního analyzátoru patří grafické zobrazení těchto parametrů: poměr stojatých vln SWR, šířka pásma, impedance  $Z$ , která se skládá z reálné a imaginární části ( $R$ ,  $X$ ). Anténní analyzátor využíván jak v profesionálním provozu, tak radioamatéry.



Obrázek 4.1: Anténní digitální analyzátor

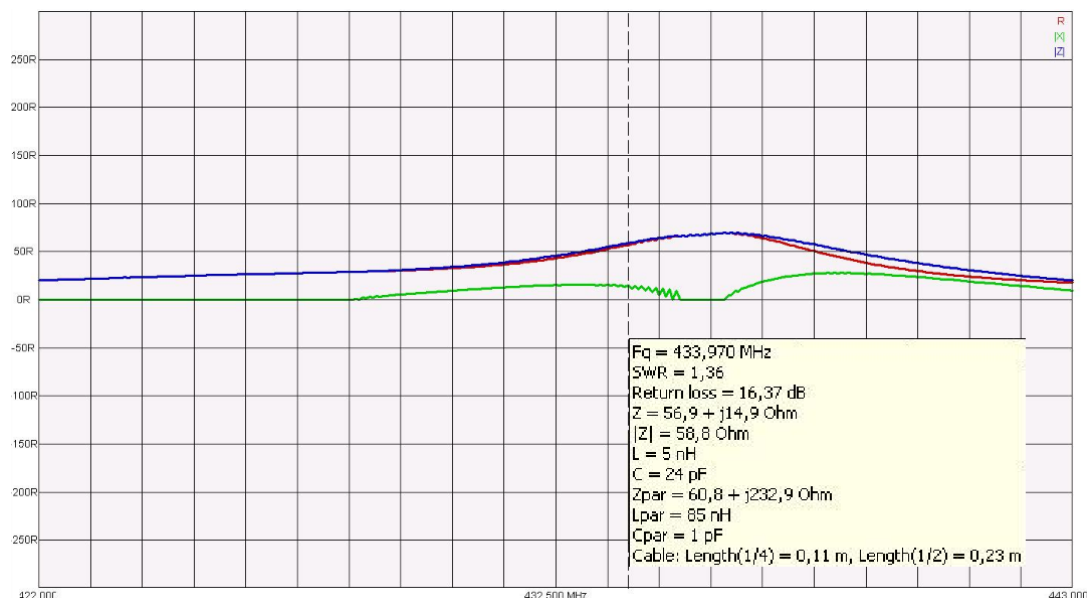
Proměřovaná anténa byla zavěšena v místnosti na provázku (ve volném prostoru) a následně zapojena do analyzátoru, na kterém byl nastaven rozsah frekvenčního pásma, ve kterém byl měřen poměr stojatých vln SWR a další parametry. Na obrázku 4.2 můžeme vidět graf s poklesem na hodnotě 433,920 MHz, při tomto poklesu je ideální hodnota = 1,30.



Obrázek 4.2: Graf neměrné závislosti na parametru SWR na použitém kmitočtu

## Ověření správnosti návrhu a konstrukce měřením

Po měření SWR byla zvolena funkce analyzu vyzařovacího odporu a reaktance R, X. Postupováno bylo stejně jako při předchozím měření SWR.



Obrázek 4.3: Naměřená závislost parametru vstupní impedance na použitém kmitočtu

Z grafu na obrázku 4.3 jdou vidět tyto naměřené hodnoty: modrá linie značí absolutní hodnotu reálné impedance Z, zelená linie značí reaktanci zařízení X a červená linie značí vyzařovací odpor R, jehož naměřená hodnota činí 56,9  $\Omega$ . Tyto hodnoty se jen nepatrně liší od vypočtených parametrů dle programu MMANA.

### 4.1 Vyhodnocení měření

Měření parametrů poměru stojatých vln SWR a vstupní impedance u zkonstruované Quagi antény proběhlo bez potíží a s dobrými, naměřenými výsledky. V simulačním programu MMANA byl poměr stojatých vln SWR = 1,22 a vyzařovací odpor R = 61,03  $\Omega$ , což jsou výsledky téměř totožné s výsledky naměřenými.

Nepřesnost měření může být dána:

- při stavbě antény na větší kmitočty (zde hrozí nepřesnost z hlediska rozměrů),
- milimetrovým zkrácením či prodloužením jednotlivých prvků, např. reflektoru, direktoru, ráhna anebo koaxiálního vedení (způsobují nepřesnost parametrů antény např. vysoké PSV).

## **Závěr**

Cílem této bakalářské práce byl popis Quagi antény a její odlišnosti od antény Yagi-Uda. Zrealizovat praktický model této antény na zadaný kmitočet a prověřit správnost návrhu konstrukce měřením.

V této práci byla popsána Quagi anténa, její vznik, charakteristické vlastnosti, výhody, nevýhody a její využití, tyto charakterové vlastnosti byly popsány také u antén Yagi-Uda a Quad, které svoji kombinací vytvářejí Quagi anténu. Následně byly antény Quagi a Yagi-Uda od sebe odlišeny v simulačním programu MMANA, ve kterém bylo zjištěno, že v určitých parametrech jako je vyzařovací odpor, zisk, předozadní poměr a také poměr stojatých vln PSV je v tomto Quagi anténa lepší. Byly vypočteny parametry Quagi antény na zadaný kmitočet 433,92 MHz (VKV pásmo). V simulačním programu MMANA byly zrealizovány 3 návrhy antény. Z těchto návrhů byla vybrána anténa, která měla směrovost nejvíce podobnou Yagi-Uda anténě. Návrh antény byl zhotoven z dřevěného ráhna a poměděných ocelových drátů v domácích podmínkách. K realizaci této antény nejsou potřebné vysoké náklady na stavbu. Správnost měření návrhu a jeho konstrukční zhotovení bylo prověřeno na anténním analyzeru AA-520, který je určen pro testování a k rychlé kontrole parametrů antény, také k ladění antény. Při zadaném kmitočtovém rozsahu (v pásmu VKV) byla odzkoušena tato konstrukce na zadaném kmitočtu 433,92 MHz. Z naměřených výsledků anténním analyzerem byl vyhotoven graf, ve kterém vyšla velmi dobrá hodnota poměru stojatých vln  $PSV = 1,30$ , což je základní hodnota pro vhodné ladění antén (vhodná hodnota PSV se pohybuje od 1,20-2).

Nevýhodou této sestavené antény je špatná odolnost vůči povětrnostním vlivům, horší mechanické a fyzikální vlastnosti. Výhodou však jsou lepší parametry ve srovnání s anténou Yagi-Uda a nízká pořizovací cena na stavbu této antény.

Smyčková, směrová anténa Quagi je vhodná pro radioamatéry a také pro všestranné využití v pásmu VKV.

## Použitá literatura

- [1] BEDNÁŘ, Jiří. GREGORA, Pavel. Příjem DVB-T. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007. 134 str. ISBN 978-80-7300-221-3
- [2] MATUSZCZYK, Jacek. Antény prakticky. Praha: BEN - technická literatura, 2002. 240 s. ISBN 80-7300-084-9.
- [3] ČESKOSLOVENSKÝ DX-KLUB, Yagi anténa [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné na: <https://www.dx.cz/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=26>
- [4] PROCHÁZKA, Miroslav. Antény: encyklopedická příručka. 3. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 383 str. ISBN 80-7300-166-7
- [5] Antény [online] c2004, poslední revize 2013[cit. 2014-04-03]. Dostupné na: <http://www.bezdratovepripojeni.cz/cs/cz/clanky/anteny>
- [6] RAIDÁ, Zbyněk a kol. Elektromagnetické vlny, Mikrovlnná technika: multimediální učebnice [online]. c2010 [cit. 2014-04-08]. Dostupné na: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=10-7-A>
- [7] LEGÍŇ, Martin. Televizní technika, 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 286 str. ISBN 80-7300-204-3
- [8] MACOUN, Jindra. Yagiho směrové antény (1961-1962) [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné na: [http://www.ok2kkw.com/next/ok1vr\\_yagi1962.htm](http://www.ok2kkw.com/next/ok1vr_yagi1962.htm)
- [9] QUAD Driven Uda-Yagi „Quagi“ Antennas. [online]. [cit. 12. 3. 2011]. Dostupné na: <http://aa1zb.net/Antennas/Quagi/Quagi.html>
- [10] OVERBECK, Wayne. The VHF QUAGI. [online]. Last upadate 01/2005. [cit. 2014-04-07]. Dostupné na: <http://members.optusnet.com.au/jamieb/quagi.html>
- [11] Smyčkové antény QUAD [online]. c2014 [cit. 2014-04-08]. Dostupné na: <http://www.ok1sdi.estranky.cz/clanky/smyckove-anteny-quad.html>
- [12] ŠÍDLOVÁ, Věra, ŠÍDLO, Míra. QUAD. [online]. c2011. [cit. 2014-04-08]. Dostupné na: <http://www.sidlo.com/ok1ufc/quad.htm>
- [13] MULLER, Dušan a IVÁNEK, Lubomír. Projekt MMANA-GAL [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2012-02-25]. Projekt. VŠB TUO. Dostupné na: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni\\_vln/projekty/Manual\\_MMANAGAL.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni_vln/projekty/Manual_MMANAGAL.pdf)
- [14] BALANIS, Constantine. [I]Antenna Theory : Analysis and design. [I]3rd edition. United States : Wiley, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.
- [15] Využívání vymezených rádiových kmitočtů - ČTÚ. Ctu.cz [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenych-radiovyh-kmitoctu.html>

## Seznam příloh

Příloha A:	Tabulka optimalizovaných prvků pro Yagi-Uda anténu .....	I
Příloha B:	Vyzařovací směrová charakteristika Yagi-Uda antény .....	II
Příloha C:	Vyzařovací stejně směrová charakteristika Quagi antény.....	III

## Příloha A:

### Tabulka optimalizovaných prvků pro Yagi-Uda anténu

Tabulka 0.1: Tabulka optimalizovaných prvků pro Yagi-Uda anténu (normalizovaný průměr prvků  $d/\lambda = 0.0085$ , vzdálenost  $L_1 \cdots L_2 = 0.2\lambda$ ).

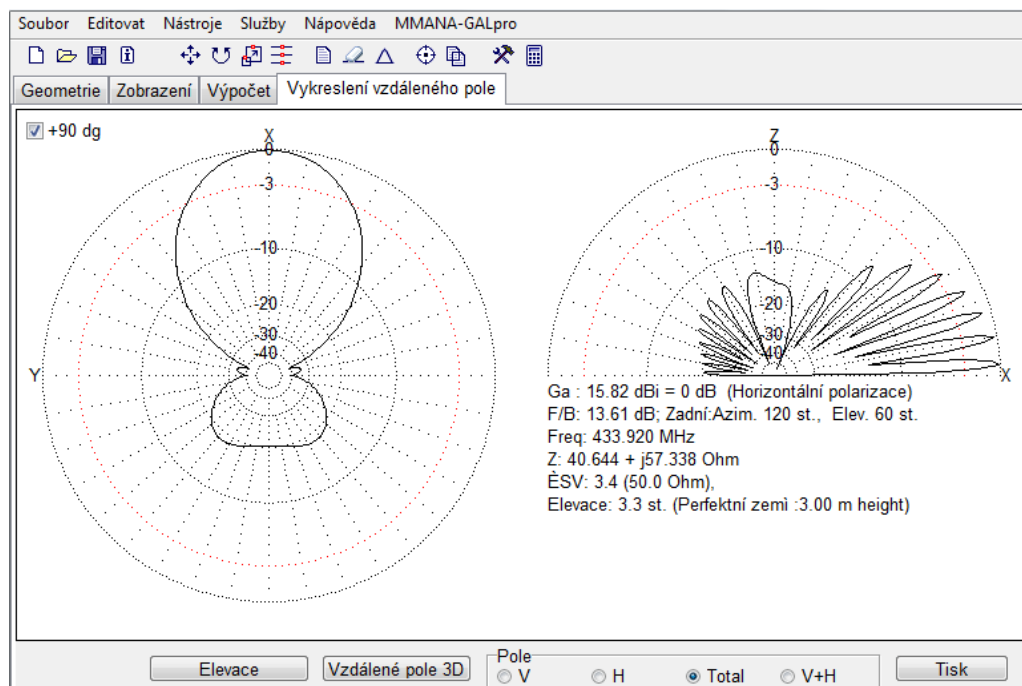
Délka ráhna/ $\lambda$	0,4	0,8	1,2	2,2	3,2	4,2	poznámka
$L_1/\lambda$	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475	reflektor
$L_2/\lambda$	$\lambda/2$ skládaný dipól $\approx 0.47$						zářič
$L_3/\lambda$	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424	direktor
$L_4/\lambda$		0.423	0.420	0.415	0.420	0.424	
$L_5/\lambda$		0.428	0.420	0.407	0.407	0.420	
$L_6/\lambda$			0.428	0.398	0.398	0.407	
$L_7/\lambda$				0.390	0.394	0.403	
$L_8/\lambda$				0.390	0.390	0.398	
$L_9/\lambda$				0.390	0.386	0.394	
$L_{10}/\lambda$				0.390	0.386	0.390	
$L_{11}/\lambda$				0.398	0.386	0.390	
$L_{12}/\lambda$				0.407	0.386	0.390	
$L_{13}/\lambda$					0.386	0.390	
$L_{14}/\lambda$					0.386	0.390	
$L_{15}/\lambda$					0.386	0.390	
$L_{16}/\lambda$					0.386		
$L_{17}/\lambda$					0.386		
odstupy/ $\lambda$	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308	mezi direktory
D dBd	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20	měřeno
D dBi	9.20	11.30	12.30	14.35	15.50	16.30	měřeno
křivka	A	B	B	C	B	D	obrázek ??

Obrázek A. 1: Tabulka optimalizovaných prvků pro Yagi – Uda anténu [14]



## Příloha B:

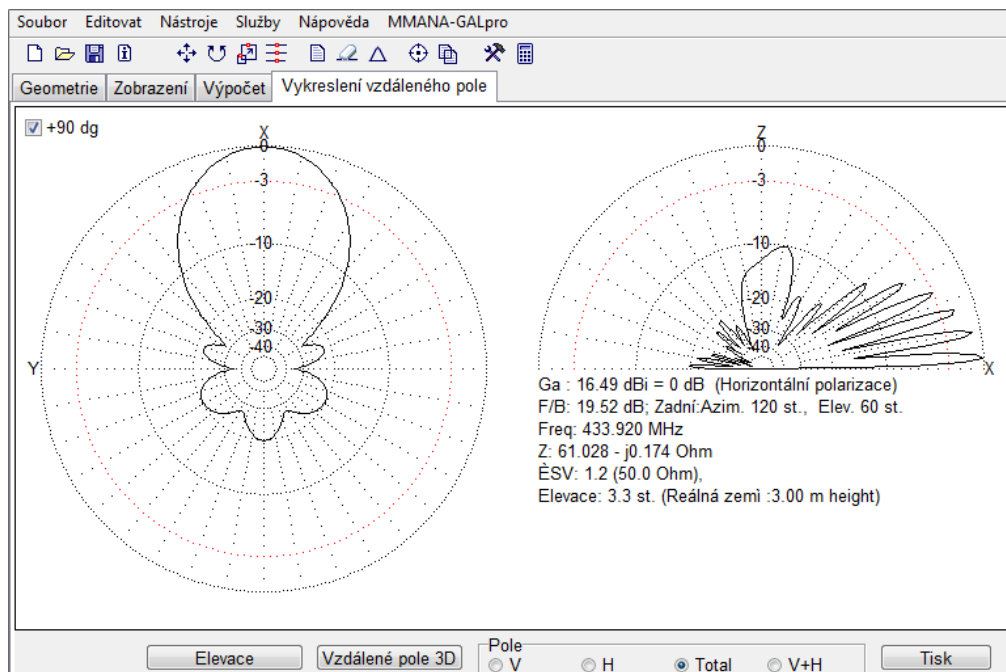
### Vyzařovací směrová charakteristika Yagi-Uda antény



Obrázek B. 1: Yagi-Uda anténa a její vyzařovací charakteristika v simulačním programu MMANA

## Příloha C:

### Vyzařovací stejně směrová charakteristika Quagi antény



Obrázek B. 1: Quagi anténa a její vyzařovací stejně směrová charakteristika v simulačním programu MMANA